

文章编号: 1001-8166(2005)05-0584-03

美国地球探测计划

2001年,美国国家科学基金会(NSF)、美国地质局(USGS)和美国国家航空航天局(NASA)联合发起了一项新的“地球探测”(Earthscope)计划。它是一套分布式、多用途仪器和观测台网的组合,目的是加深对北美大陆结构、演化和动力学特征的理解。

1 地球探测计划的目标

地球探测计划的目标是建立一个多目标设备和观测站网络,大大提高对北美大陆构造和活动构造的观测能力,即用较密集的仪器阵列覆盖美国大陆,揭示美国大陆是如何拼合而成的?目前是如何运动的?下部由什么物质组成?本计划要提供地表的详细图像,查明地下物质。

2 地球探测计划的内容

地球探测计划主要内容包括以下4个方面:

2.1 美国地震阵列(USArray)

(1) 在美国选择2 000个地震观测点构成规则的测网,利用400台宽带可移动遥测地震仪组成的阵列,轮流进行地震观测,采集实时数据。该地震阵列能够记录来自本地、区域和遥远地区的地震信息,可分辨出深度达数十公里的地壳和上地幔块体,识别下地幔和核—幔边界构造。与地震仪阵列相匹配,还布设了约50台大地电磁测量仪器,以提供岩石圈温度和流体含量的有关信息。

(2) 利用约2 000台便携式地震仪(宽频带、短周期和高频探测仪),按照灵活的发射—接收排列方式,对关键的目标进行测量。便携式地震仪可采用天然地震和用作炸药作为震源的人工地震进行高密度和短期测量。这样就可以对许多重要的地质目标进行调查,其中包括断层的深度、活动火山之下岩浆岩的规模、地壳构造与地幔结构之间的关系、地体边界的形状、沉积盆地和造山带的深部结构、大陆裂谷的结构和岩浆垂直运动方式等。

(3) 扩大美国国家地震台网。由大陆台网构成的相对密集、高质量的观测站(间距300~350 km)的地球深部构造层析成像,提供了长期连续观测的

平台,为可移动地震阵列的校准建立了固定参考点。USArray将大大提高大陆岩石圈和地幔深部地震成像的分辨率。

2.2 圣安德列斯断裂深部观测站(SAFOD)

SAFOD的目的是直接采集断裂带样品(岩石和流体)测定断裂带的各种性质,检测深部蠕变和地震活动断裂带。拟在圣安德列斯断裂带,靠近1966年发生里氏6级帕克菲尔德地震震中的地方打一口4 km深的钻孔。钻孔孔位离圣安德列斯断裂足够远(根据地质观测、微震位置和地球物理图像确定),通过钻井和偏斜井的取芯,可穿过垂直深度3 km的断裂带,达到断裂带另一侧未受扰动的围岩。

在圣安德列斯深大断裂带内的钻进、采样和井下测量,可在震中深度上对大型活动断裂带的成分、物理状态和力学性质进行直接观测,这将大大加深我们对地震的认识。除了断裂带的岩样和流体样品供实验室分析外,在活动断裂带内及其邻区还计划进行大量的井下地球物理测量和长期监测。观测站监测内容包括近区、宽动态范围的地震能量积聚作用以及周期性地震发生期间孔隙压力、温度和应变的连续变化情况。

2.3 板块边界观测站(PBO)

PBO是一套测量北美西部现今变形的高精度大地测量仪器系统。该大地测量网将从太平洋沿岸延伸到落基山脉的东缘,从阿拉斯加延伸到墨西哥。PBO由两套互补性很强的时间分辨率很高的仪器系统组成,一是分布在1 000个点上的GPS系统,二是分布在200个点上的超低噪声应变测量仪。间距100~200 km的稀疏的GPS网络,将分布于活动火山及活动地震断层带上,大约20个密集网连接成一个整体,覆盖整个美国范围。

PBO将大大提高观测地壳中由地震和火山活动产生的缓慢变形的能力,从而加深对地震和火山爆发临近过程的认识,增强预报的准确性。

2.4 合成孔径干涉雷达(InSAR)

InSAR计划是一项特别的专用于科学研究的卫星探测任务,可以对北美及太平洋板块进行周期性

的高精度测量(8天一次,分辨率30~100 m)。利用干涉合成孔径雷达技术,通过多时相的影像分析对比,可以精确揭示水平和垂直位移,在各种地表条件下分辨率均达1 mm。这一新的雷达影像技术,同PBO计划中的连续GPS及应变测量结果结合在一起,可以测绘火山、地震爆发前后及爆发期间的地表位移,提供断裂机制和地震爆发的线索。InSAR还能保证人们发现穿过宽广的活动变形带与地震有关的应变积累,圈划出未来的地质危险区。InSAR可以让人们得到可能导致火山爆发的岩浆系统中岩浆的位置和运移情况,还可以为圈划由石油开采和地下水抽取导致的地面沉降提供信息。

3 对地球探测计划的评价

应美国国家科学基金会的邀请,美国国家研究理事会(NRC)成立了一个特别委员会,审查地球探测计划的3个组成部分:美国地震阵列(USArray)、圣安德列斯断裂深部观测站(SAFOD)和板块边界观测站(PBO)的科学目标和实施规划。虽然没有正式要求审查合成孔径干涉雷达(InSAR),但在考虑地球探测计划的整体性后,评价了其总体目标,主要关注以下问题:地球探测计划的科学原理是否正确,准备解决的科学问题是否具有重大意义?为了保证达到深入了解北美陆壳结构、动力学和演化的目标,有没有其它研究内容需要补充到现在的地球探测计划中?地球探测计划三个组成部分的实施和管理计划能否达到其目标?是否需要开展适当的合作来尽量扩大地球探测计划预计的科研成果?委员会于2001年编写了《地球探测综合科学的评价》战略报告。委员会认为,综合性地球探测计划是合理的,该计划构思完美,反映了地球物理界10年来深思熟虑的见解与规划。委员会相信,通过广大地学界的参与,对这些设备的使用制定出详细的科学规划和战略同样会是完美无缺的。该计划对地学的潜在科学价值意义重大,计划的“应用科学”对社会的潜在效益同样会非常显著。地球探测计划实际上是地学方面一项具有真正远景的计划。委员会支持整个计划及其所有的组成部分。

委员会认为,地球探测计划将会对美国和世界的地学产生巨大的影响,它将为科学家提供可用上几十年的大量数据。地球探测计划打算在互联网上免费提供数据,而且尽可能接近实时提供,这既值得赞扬,又具有开放精神。这将会促进全世界的地学研究和合作,保证从采集的数据中尽可能多

地获得最大效益和最深入的见解。参与地球探测计划的科学家认识到,免费和开放地利用这些数据能保证数据质量受到严格的评估。此外,他们还根据这些数据的使用情况来衡量现有和过去全球监测计划的成效。地球探测计划可能成为世界地震学界的科技领先力量。这一用于探测北美大陆地下王国的综合系统,可以作为其它大陆——非洲、亚洲、欧洲、大洋洲、南美洲和南极洲研究的范例。

3.1 科学原理和科学问题

委员会十分赞同地球探测计划提出的调查美国地下岩石圈和地幔的综合途径,包括它的4个组成部分:USArray、PBO、SAFOD和InSAR。委员会的结论是,地球探测计划的科学原理正确,要解决的科学问题意义重大,也没有遗漏必要的研究内容。委员会建议地球探测计划的所有四个组成部分都应尽快实施。

要回答地球探测科学开创性计划提出的关键问题,就要求NSF地学部,尤其是地球科学处(EAR)所有学科科学家的参加。

NSF应当让社会各界充分认识地球探测计划的科学潜力,在NSF地球科学处范围内通过持续资助单学科和跨学科计划以形成本计划的科学基础。

近年来,InSAR在地震周期的成像方面,以及揭示火山下方深部岩浆运动方面,都做出了惊人的贡献。委员会认为,InSAR是地球探测计划整体工作不可分割的一部分,它会大大提高本项目的效果,而不应当把它仅仅看作是对项目的一种理想的补充。委员会敦促NSF和NASA合作,尽早地实现这一目标,以便在地球探测计划其它组成部分进行期间发挥InSAR的能力。

3.2 实施和管理

地球探测计划管理机构能否有效运行,实现各个部分的综合,将取决于未来制定的详细计划。地球探测计划需要一种机制来保证对单个研究人员和小型研究群体开展的跨学科研究进行集成、协调和综合。

委员会建议,地球探测计划除了开发装备外,应注重科学计划的运行阶段,并制定战略性的科学计划,以实现其长期的科学目标。这样的计划应包括围绕地球探测计划各个部分和地学所有相关分支设立科学咨询机构,以便对有关计划科学方向提供监督和咨询,并协助其科学工作。它还应当包括一种机制,以便向NSF提供有关地球探测计划资助顺序的建议。咨询机构还应当包括与其它计划的沟通,

这些计划不是补充性的,而是有助于完成更广泛的地球探测观察,更好地了解北美大陆的结构和演化。

委员会敦促地球探测计划的管理人员建立一种机制,以便快速有效地将适用的设备和专门技术用于项目实施过程中,从而提前发现一些意想不到的问题。

3.3 教育与宣传

由于地球探测计划提供了前所未有的机遇,委员会建议,对目前体现在地球探测计划内的地球探测教育和相关领域应予大力的实际支持,它们应当是地球探测计划不可分割的组成部分。教育专家应当参与制定和实施教育计划及相关研究。

由于地球探测计划建议者将继续制定文件,让公众了解地球探测计划,委员会建议,加大力度宣传地球探测计划是一种地学信息来源,以满足社会对减轻自然灾害、资源利用、土地利用规划和环境保护的需求。

3.4 适当的合作关系

了解板块运动和板块边界的动力学,需要了解关于近海运动的知识,因为尽管地壳延伸到目前的滨线以外很远,但地球探测计划的 USArray 和 PBO 装置并未延伸到海洋领域内。一项辅助计划 NEPTUNE 准备在美国西北部太平洋沿岸的近海进行类似的测量,海洋科学界的其他成员正准备在北美近海的一系列地点布置海底地震仪。

委员会建议,地球探测计划工作组应积极进行地球探测计划和海洋地学计划(包括 NEPTUNE)之

间的协调,以保证地球探测计划设备的建立,与海洋地质及地球物理界支持的基于 GPS 的声波测量仪、应变计及海底地震仪(OBS)阵列的部署互为补充。

几项大型科学计划目前正在规划广泛的教育工作,对地球探测计划具有特殊科学意义的一个例子是所提议的 NEPTUNE 计划。

委员会建议,地球探测计划应与其它相关计划建立协作和交流,以便在现有进展的基础上加强地学教育及其相关领域的主要工作。

地球探测计划工作组已将地球探测计划纳入“通过探测北美大陆三维结构,争取明显地推动对该大陆的实际了解……”,并指出,他们将争取与加拿大和墨西哥的同事合作,以便将这些国家有关计划获得的数据与美国的地球探测数据合为一体。

委员会赞同地球探测计划建议者寻求与加拿大和墨西哥同行合作的意向,以便扩大对美国行政边界以外地壳和岩石圈动力学的了解。委员会认为,地球探测计划将会给国际合作科研计划以强有力的推动,就像在北美地质十年计划(DNAG)期间编制的大断面和全大陆位场(如重力和航磁)数据集的建立推动了过去的合作一样。

白星碧、施俊法据 Earthscope-Scientific targets for the world's largest observatory pointed at the solid earth (2001 年)和 Review of earthscope intergrated science (2001 年)编写